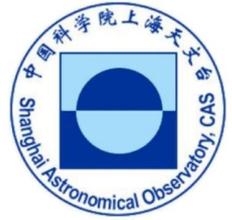




# 天马行空录



主办单位：中国科学院上海天文台

2021年6月30日

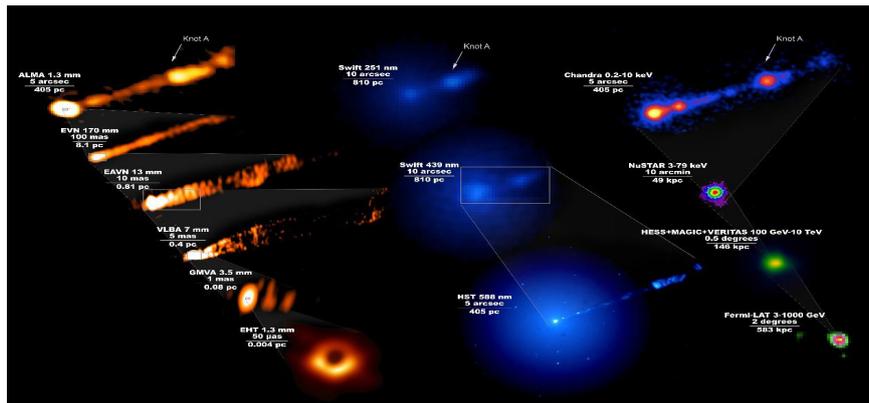
第29期

总第29期

## 【科学观测动态】天马望远镜参与获得对 M87 开展前所未有的多波段同步观测成果

2019年4月16日，科学家发布了人类有史以来第一张黑洞照片。这一卓越成就是通过事件视界望远镜（EHT）于2017年4月对M87星系中央超大质量黑洞的观测获得的。然而，这仅仅是这个科学故事的开始。上海天文台牵头组织协调中国学者（包括8位上海天文台研究人员）参与了此次的EHT合作。期间，EHT国内牵头人上海天文台沈志强研究员领导天马望远镜团队，在2017年EHT观测前夕完成对天马望远镜在13 mm和7 mm两个波段的VLBI系统调试以及低频波段的检查，成功组织天马望远镜参加2017年3月至5月的EHT同步多波段VLBI国际联测及后续数据分析等。

来自32个国家或地区近200个科研机构的760名科学家和工程师组成的团队，使用19台望远镜（阵），成功汇集了2017年3月底至4月中旬的观测数据。在对M87的EHT观测期间，全球科学家通过协调地面和太空中最先进的望远镜，同步收集到了整个电磁波谱范围内的辐射，这是迄今为止对超大质量黑洞及其喷流的频率覆盖最广的同步观测。此次发布的结果发表在《天体物理学杂志通讯》上。天马望远镜参与了2个望远镜阵、3个波段的同步观测，包括2017年5月9日的欧洲VLBI网（EVN）170 mm观测，并贡献了最高分辨率基线（见图1）。同时，作为东亚地区灵敏度最高的长毫米波射电望远镜，天马望远镜全程参与了2017年3月至5月期间东亚VLBI网（EAVN）在13 mm和7 mm对M87共14次EHT协同观测。这是中国射电望远镜在7 mm工作波长首次成功参加国际VLBI联合观测。对于距离地球约5500万光年的M87中心的这个65亿倍太阳质量的黑洞，每台望远镜都提供了有关其物理行为和影响的独特信息。



注：天马射电望远镜参加了其中EVN的170 mm和EAVN的13 mm及7 mm观测。图片来源：EHT合作组织多波段工作组。

图1 M87的多波段观测结果

此次公开的来自19台望远镜（阵）的数据将极大地加深人们对这个黑洞中央引擎及其系统的理解，并提升对爱因斯坦广义相对论的检验。观测表明，当时M87超大质量黑洞周围物质产生的辐射强度处于有观测记录以来的最低水平。这为看黑洞的“阴影”提供了理想的条件，同时便于区分开接近事件视界的区域和离黑洞数万光年尺度以外的辐射（比如高能伽马射线的起源）。此研究表明，至少2017年这些伽马射线不是在事件视界附近产生的。

这批新的数据宝库的公开恰逢 EHT 的 2021 年观测，这还是自 2018 年以来的首次 EHT 观测。与 2017 年相比，该阵列新增了三台望远镜——格陵兰望远镜、基特峰 12 米望远镜和北方扩展毫米波阵列（NOEMA）。天马望远镜继续参与了 2021 年的东亚 VLBI 网（EAVN）联测。未来，天马望远镜仍将积极参与到这类国际合作中，对包括 M87 在内的更多黑洞天体进行监测。

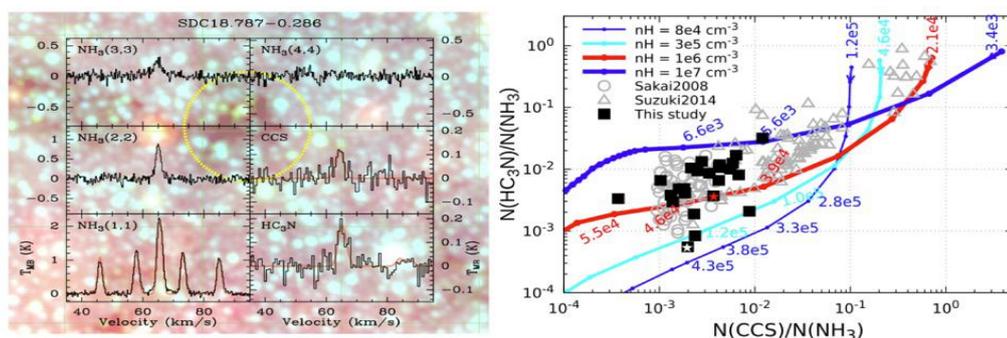
## 【科学观测动态】天马望远镜圆满完成天问一号火星车定位和环绕器测轨

天问一号祝融号火星车于 2021 年 5 月 15 日成功着陆于火星乌托邦平原。为了给火星车精确定位，2021 年 5 月 27 日、5 月 28 日、6 月 1 日、6 月 4 日，VLBI 分系统开展了 4 次火星车和环绕器间的同波束 VLBI 观测，获得了 4 段各约 20 分钟的差分相时延有效数据。VLBI 分系统利用同波束 VLBI 差分相时延数据对火星车进行了定位，其随机误差约为 1 ps。火星车定位使用了两种策略，策略 1 为固定高程只解算经度和纬度 2 个参量，策略 2 为不加约束解算经度、纬度和高程 3 个参量，定位结果与视觉定位结果的差异为千米量级，VLBI 分系统圆满完成了火星车定位任务。同时，天马望远镜继续执行天问一号环绕器测轨任务。截止 2021 年 6 月 30 日，天马望远镜共进行了 201 次观测，圆满完成包括火星车着陆在内的各测控段测定轨任务。

## 【科学观测动态】大质量恒星形成早期阶段的化学演化研究

大质量恒星形成的早期阶段决定了大质量恒星的后续演化，与大质量恒星形成早期阶段相关的许多重要前沿问题一直是国际学术领域关注的热点，特别是大质量恒星形成早期阶段的化学演化及其与大质量恒星形成的关系，至今依然没有定论。红外暗云是一种超低温（绝对零度以上 10—30 度）、冷暗致密的星际物质聚集体，是恒星形成和星际化学演化的主要场所，是研究大质量恒星形成早期阶段的理想样本。

2019 年 1 月及 3 月，国家天文台科研人员使用天马望远镜的 position switching (PS) 的观测模式对一个包含了银河系内几十个红外暗云的大样本进行了 K 波段分子谱线观测工作。该大样本的选择基于质量形态等物理特征，其对于红外暗云具有代表意义。主要的探测目标谱线是三条具有很强化学表征性的分子探针：氨分子（NH<sub>3</sub>）、一硫化二碳（CCS）和氰基乙炔（HC<sub>3</sub>N）。这三者的组合可以敏感地示踪冷暗气体的化学演化时标。其中 CCS 是极早期冷暗气体的重要化学成分，此前仅在 8 个红外暗云中探测到了 CCS。本研究工作则将 CCS 红外暗云样本从 8 个增加到 23 个，大大增加了红外暗云中碳链分子和含氮分子的统计意义。天马望远镜可长期稳定工作，且相较于此前的观测整体上具有更高的灵敏度，从而为探测结果提供了有力保障。国家天文台科研人员还通过天体化学数值模拟与观测数据的对比，有效确定了红外暗云的红学演化时标，证实了这些具有较高密度的暗云团块相当年轻。相关研究成果发表在 Science China Physics, Mechanics and Astronomy（谢津津等，2021, 64: 279511）。



注：左图为探测到的谱线的示例（红外暗云 SDC18.787-0.286），背景为红外波段（WISE 天文卫星在 3.5~22 微米波长范围内的公开数据）图像，黄色圆圈表示天马望远镜的波束覆盖范围；右图为化学模型与观测数据的对比，节点数字标记了演化年龄（单位为年）。

图 2 利用天马望远镜对红外暗云 K 波段的观测结果

## 【科学观测动态】天马射电望远镜团组磁星研究再获新进展

磁星是宇宙中一类具有超强磁场的特殊天体，其磁场强度可达  $10^{14} \sim 10^{15}$  高斯，为地球磁场的百万亿倍以

上。目前人们仅发现 31 颗磁星及其候选体，它们通常表现为软  $\gamma$  射线重复暴和反常 X 射线脉冲星，其中仅 6 颗磁星探测到射电波段辐射，可谓少之又少。和常规脉冲星相比，磁星具有剧烈的高能现象、多样的辐射轮廓、频繁的自转变化等显著特点。无论是磁星的辐射还是其结构、演化等基本问题一直是天文学研究的前沿热点。

继上次成功探测到银河系中心黑洞周围磁星 PSR J1745-2900 的射电爆发后，天马射电望远镜团组又取得了磁星 Swift J1818.0-1607 观测研究的新进展。此磁星于 2020 年 3 月 12 日因 X 射线爆发被首次发现，随后观测证实其具有持续的射电辐射，后续全球多台大型射电望远镜均将它列为重要观测目标。天马望远镜对该磁星进行双频率（2.25 GHz 和 8.60 GHz）同时监测研究，取得如下阶段性成果。

(1) 仅用一台望远镜（即天马望远镜）对该磁星实现了频率覆盖跨度高达 6 GHz 的双频同时观测。尽管国内外研究者已在多个频率对它观测，但多频同时观测资料非常稀缺。由于磁星辐射随时间多变且不可预测，非同时获得的多频资料无法准确揭示它的辐射随频率变化规律。不同频率辐射来自不同高度的辐射区域，因而多频平均轮廓能以“立体”视角反映磁星辐射信息。天马望远镜除了探测到这颗磁星较常见的单峰和双峰平均轮廓外，还多次观测到鲜有报道的“三峰”平均轮廓。研究发现其 2.25 GHz 和 8.60 GHz 的平均轮廓变化在绝大多数情况下并不同步，这表明辐射随时间和频率变化的复杂性。

(2) 天马望远镜团组用更长时间跨度（约为已发表最长跨度的两倍）的观测资料证实该磁星自转频率随时间减慢趋势和自转频率导数准周期震荡现象，成功拟合了自转频率长期变化的一阶导数，从而推导出更精确的特征年龄（约 522 年）。

(3) 团组通过精确监测发现该磁星 2.25 GHz 和 8.60 GHz 流量随时间逐渐增大同时能谱逐渐变平，解释了 X 射线爆发后的 27 天内未能探测到其 8.0 GHz 以上积分轮廓的原因。

(4) 团组发现了该磁星有别于帕克斯望远镜邻近时段的模式变换现象。所谓模式变换是少数脉冲星类天体在两个（及以上）亚稳态辐射之间快速“变脸”现象。尽管和澳大利亚帕克斯望远镜的观测仅仅相隔 3 天，天马望远镜 2020 年 7 月 21 号探测到的模式变换现象却伴有剧烈的流量变化。

来自广州大学、北京师范大学、中国科学院新疆天文台、贵州师范大学、中国科学院高能物理研究所等单位的多位研究者参与了这项工作。研究成果已经刊发在 2021 年 505 卷 1 期的《英国皇家天文学会月刊》(MNRAS)。有关磁星的后续监测还在天马望远镜上进行着，并将进一步揭示这类天体的奥秘。

## 【技术维护与进展】天线机械结构维保

2020 年底至 2021 年初，天马望远镜副面 6 杆并联机构在气温低于  $-5^{\circ}\text{C}$  时出现 2 次卡死现象。针对该问题，中国科学院上海天文台联合中国电子科技集团公司第五十四研究所，对其中的一个备用分支在水平放置无负载状态下共进行了 4 组试验：分支润滑前和润滑后的常温（ $25^{\circ}\text{C}$ ）和低温（ $-6^{\circ}\text{C}$ ）试验。由试验数据对比发现，润滑后低温试验的过载时间由润滑前的 2.2 s 将至 0.93 s，经分析初步认为机构可运行约 10 年，部分位置因润滑不到位导致低温运行不顺畅，后续将在 2021 年 8 月份进行一次彻底维保，同时在石家庄冬天低温时对备用分支加负载继续进行试验分析。

## 【技术维护与进展】主反射面面型丢失检测方法——增益法

针对天马望远镜历史上出现的 4 次主反射面面型丢失的问题，主动面项目组提出一种新主反射面面型丢失检测方法——增益法，具体做法为：1) 在天线面型控制上位机 SCU 的 SRControl 控制页面设定主动面状态为“off”，此时主反射面面型回到 50 度基准模型，在高频段（Q 波段）对强射电源（如 3C84 或 dr21）进行十字扫描，修正指向后得到高斯波形 1。2) 在天线面型控制上位机 SCU 的 SRControl 控制页面设定主动面状态为“on”，并勾选“Enable ActiveFace”选项，此时面型将根据俯仰位置调整到相应的面型，在高频段（Q 波段）对强射电源（如 3C84 或 dr21）进行十字扫描，修正指向后得到高斯波形 2。3) 在高低仰角处，高斯波形 2 的峰值应明显高于高斯波形 1 中的峰值。

2021 年 6 月 23 日，主动面项目组使用指向源 3C84，在方位角  $40^{\circ}$ ，俯仰角  $70^{\circ}$  左右进行了增益法的实

验证。图 3 中红色框部分为主动面为 on 状态下测出的增益曲线，绿色框部分为主动面为 off 状态下测出的增益曲线。从图 3 可以看出，主动面在处于 on 状态时的增益曲线峰值明显高于 off 状态下的增益曲线峰值。此结果证实了增益法的有效性。该检测方法为快速判断主反射面面型是否丢失提供了一条新的途径。

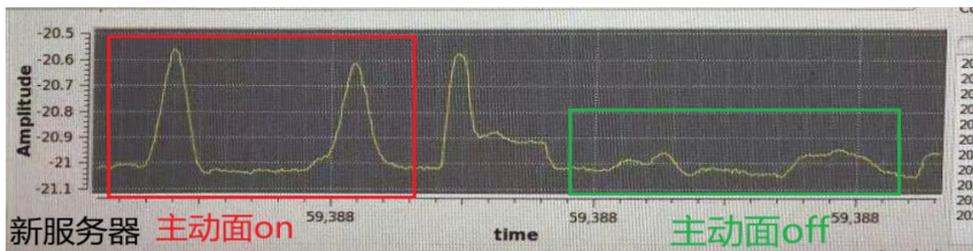


图 3 增益法实测曲线

## 【技术维护与进展】天马望远镜健康监测系统

2016 年项目组在天马望远镜上搭建了结构振动测量系统，主要用于结构故障诊断和预报及监测风载荷引起的结构振动。2021 年项目组在该系统的基础上开发了天马望远镜振动感知系统。新系统通过对天线上加速度传感器的数据采集和分析，提供警报以及远程、跨平台、多用户、实时监视功能。振动感知系统的简明拓扑图见图 4。

此系统工作方式的简要描述为：1) 首先利用 REFTEK 130 设备将原始数据采集到天马站的计算机中，再通过 SMB 协议将数据目录共享到振动感知系统所在设备；2) 原始数据的解析和存储主要由 Vibration Transporter 服务栈实现，该服务栈具有服务跨平台、一键式配置及快速迁移等优点；3) vibration-sampler 将原始数据解析后写入时序数据库 Influxdb，Influxdb 为 Grafana 提供时序数据服务，故 Grafana 可提供天马望远镜的振动状态显示、振动数据下载、振动故障警报功能；4) 综合以往发生故障时的监测数据，选择监视馈源处的振动情况作为故障诊断的依据。利用该系统对 2017 年 7 月 30 日 17:00:14 发生故障时的数据进行测试，结果准确发出了警报，而且经过 2021 年 6 月以来的试运行，目前尚未发现误报。后续将进一步改善用户体验与优化故障识别策略。

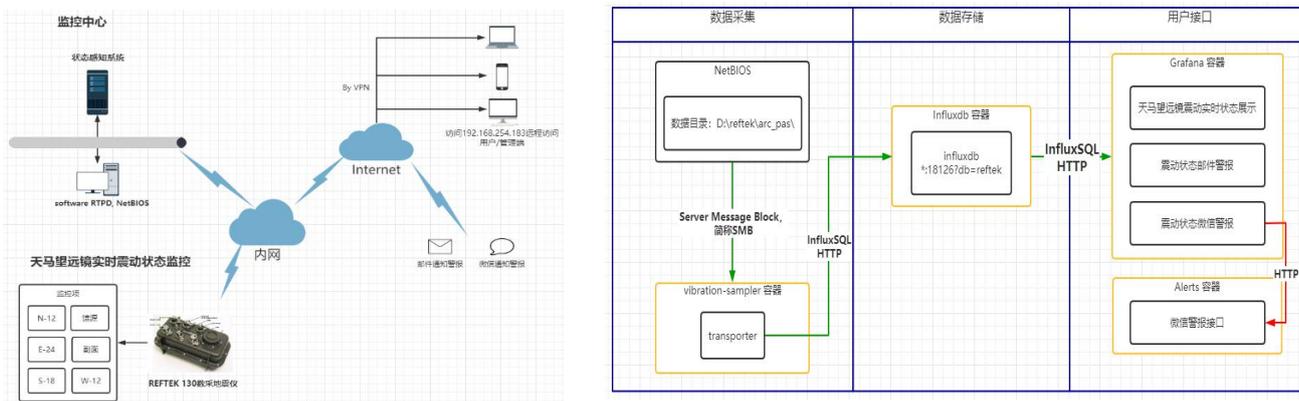


图 4 振动感知系统的网络拓扑图与服务架构图

## 【观测运行动态】观测情况统计

2021 年 4—6 月，天马望远镜总运行时间为 2 283 h，其中单天线观测 971 h，VLBI 观测 1 087 h，各项维护及测试 225 h。

中国科学院上海天文台

[网址] <http://shao.ac.cn/>

[地址] 上海市徐汇区南丹路 80 号

[邮政编码] 200030

编辑：何雯婷 王彩虹

审核：刘庆会

签发：沈志强